



Cséfalvay Edit<sup>1,2</sup> – Horváth István Tamás<sup>1</sup>

<sup>1</sup> City University of Hong Kong, Kowloon, Kémia Tanszék

<sup>2</sup> BME Gépészmérnöki Kar, Energetikai Gépek és Rendszerek Tanszék

# Az etanolekvivalens definíciója és alkalmazása a bioetanolból előállítható vegyi anyagok fenntarthatóságának értékelésére

## Bevezetés

A fenntartható fejlődésre leggyakrabban alkalmazott definíciót az ENSZ Környezet és Fejlődés Világbizottsága 1987-ben kiadott *Közös jövőnk* jelentésében fogalmazta meg. A tanulmány szerint „úgy kell kielégíteni a jelenkor szükségleteit, hogy ne veszélyeztessük a jövő generációt abban, hogy kielégítse saját szükségleteit” [1]. A definíció biztosítani látszik, hogy a következő generációk legalább úgy tudjanak majd élni, például 50 év múlva, mint ahogy jelenleg mi élünk. Gyakran felvetődik a kérdés, hogy meg tudjuk-e pontosan határozni a jövő nemzedékek igényeit, például 2069-ben? Vajon nagyszüleink az 1940-es években el tudták-e képzelni, hogy Neil Armstrong majd a Holdon sétál 1969. július 20-án, és mindössze 40 évvel később egy tenyérméretű elektronikus eszköz, mint az iPhone okostelefon, olyan nagy kapacitású számítógép lesz, mint azok, amelyekkel az Apollo 11-et irányították Houstonban [2]? Az emberiség tudományos és technológiai tudásának növekedését és fejlődését elemezve feltehetnénk még sok ilyen és ehhez hasonló kérdést. Noha az előrejelzésre alkalmas számítógépes rendszerek folyamatosan fejlődnek [3], továbbra is komoly kihívás a 25–50 évvel későbbi eredmények pontos előrejelzése, és kérdés a jövőbeni gazdasági és társadalmi változások meghatározása [4]. Elég csak az időjárásjelentések pár hétre szóló előrejelzéseinek nem ritkán vicces pontatlanságaira gondolnunk. Jelenleg csak nagy bizonytalansággal tudjuk megjósolni a jövőnket, és a *Közös jövőnk*ben leírt fenntartható fejlődés definíciója is csak arra volt alkalmas, hogy teljesíthetetlen célok létjogosultságát próbálja igazolni.

## A fenntarthatóság újszerű megközelítése

A Föld fenntarthatósága attól függ, hogy az egyelőre folyamatosan növekvő népesség ellátható-e elegendő energiával, élelmiszerral, vízzel és vegyi anyagokkal anélkül, hogy veszélyeztetnénk a környezetet és a lakosság hosszú távú egészségét [1]. Azért, hogy teljesíthető és megbízhatóan mérhető célokat állítsunk a társadalom elé, a fenntartható fejlődés olyan megközelítését ja-

vasoltuk [5], amely az evolúcióban is fontos szerepet játszó két elven alapszik:

1. *A természeti kincsek és az energiaforrások felhasználása nem lehet gyorsabb, mint amilyen mértékben azt a természet újra tudja termelni;*
2. *a hulladékok képződésének és környezetbe jutásának sebessége nem lehet gyorsabb, mint a feldolgozásuk sebessége.*

Fontos hangsúlyozni, hogy a fenntarthatóság jelentősen növelhető újrahasznosítással, amely csökkenti mind az alapanyagok felhasználásának, mind a hulladékok környezetbe jutásának sebességét. A fenntarthatóság lokálisan és globálisan is növelhető az energia- és/vagy anyagáramok integrációjával. A javasolt definíció jellemzője, hogy azt a sebességet határozza meg, amivel az egyensúly elérhető és fenntartható. Ennek pontos ismerete kiszámolhatóvá teszi a fenntartható egyensúly paramétereinek, azaz a fenntarthatóság korlátainak megállapítását, és ha szükséges, újraértékelését.

## A fenntarthatóság mérőszámai

Az elmúlt néhány évtizedben módszerek egész sorát fejlesztették ki, amelyekkel megpróbálták számszerűsíteni a fenntarthatóságot és az azt befolyásoló környezeti, gazdasági és társadalmi hatásokat. A különböző mutatószámok alapján következtetések javasolhatók a várható jövővel kapcsolatban. A jelenlegi mutatószámokat két csoportba sorolhatjuk: a vállalatok működésére és az általuk előállított termékekre vagy szolgáltatásokra, illetve a társadalomra vonatkozó mutatószámok.

1. *A vállalatok környezeti teljesítményének értékelése során a mutatószámokból a környezet állapotára vonatkozó következtetéseket vonnak le az EMAS ISO14001 [6] vagy a GHG Protocol [7] szabványok alkalmazásával. A szabványok lehetnek szervezetközpontú vagy termékközpontú előírások is. Adott termékek gyártása és/vagy szolgáltatások biztosítása során végigjárják az adott életutat az ún. „bölcsőtől a sírig” [8] elv alapján,*



és vizsgálják minden egyes lépés környezeti hatását. A megfelelő átszámítást konverziós faktorok segítségével lehet megvalósítani, amelyek a vizsgált jellemző adott környezeti hatáshoz való hozzájárulásának mértékét jellemzik. Ennek kivitelezését életciklus-elemzés (Life Cycle Assessment, LCA) segítségével valósítják meg, amelynek során a környezeti hatások számítását többféle módszerrel végezhetik, (pl. EcoIndicator '95 [9], EcoIndicator '99 [10], CML 2001 [11], IPCC2007 [12] stb.) [13]. Az eljárások legfontosabb közös jellemzője: a természetes mennyiségekben gyűjtött számos környezeti indikátort aggregálják egy vagy néhány mutatószámra. Példaként kiemelünk kettőt:

- a. Az IPCC2007 eljárás során a fogyasztás mérőszámaként megalkotott szén-lábnymot (Carbon Footprint) határozzák meg, amellyel a szén-dioxid-növekedéshez való hozzájárulást lehet mérni.
- b. Az EcoIndicator '99 eljárással becsülhetjük egy adott technológia hatásait a környezet több elemére:
  - i. emberi egészségre, (Disability-Adjusted Life Year (DALY) [14],)
  - ii. ökoszisztéma minőségére, amelyet fajok kihalásával jellemeznek, (potentially affected fraction of species [15],)
  - iii. természetes nyersanyagkészletek fogyasztására dollárban kifejezve.

Az összegzett, mértékegység nélküli mérőszámok alapján lehetőség nyílik az egyes vállalatok környezeti teljesítményének összehasonlítására, vagy adott nyersanyagból kiindulva adott céltermék előállításának alternatív előállítási technológiáinak összehasonlítására. Lehetőség van továbbá ezen teljesítményeknek az ország környezetvédelmi és/vagy fenntarthatósági célkitűzéseivel való összevetésére. Hátrányuk a jelentős adatigény, a hely- és körülményfüggőség. Az említett módszerek működtetéséhez természetesen elengedhetetlen a megfelelő mennyiségű és minőségű adat. A környezeti teljesítmény értékelésére használt eljárások közös jellemzője, hogy vagy az input, vagy az output oldalon gazdasági értékeket visznek a modellbe, amelyek a mindenkori gazdasági állapottól függenek. Mivel mindig van egy érdekelt fél, aki irányítja és így befolyásolhatja az elemzést, ezek a mérőszámok fenntarthatósági mutatószámként nem alkalmazhatók. Habár maga az életciklus-elemzés nem foglalkozik gazdasági elemzésekkel, sok adat monetáris becslésből származik, ezért az eredményeket érdek szerint befolyásolhatják.

2. Az *emberi társadalom* fenntarthatóságának kiszámítására Rees és Wackernagel kanadai ökológusok javaslatára [16] bevezették az *ökológiai lábnymot* (Ecological Footprint) fogalmát. Az ökológiai lábnymó erőforrás-menedzselésben és társadalompolitikában használható jelzőszám, ami kifejezi, hogy adott technológiai fejlettség mellett egy emberi társadalomnak milyen mennyiségű földre és vízre van szüksége önmaga fenntartásához, valamint a megtermelt hulladék eltávolításához. Ez az érték kiszámítható egyes emberekre, csoportokra, régiókra, országokra vagy vállalkozásokra is. Az ökológiai lábnymó hat tényezőtől tevődik össze:

- a. *Szénlábnymó*: A fosszilis erőforrások elégetéséből, a földhasználat-változásból és a kémiai folyamatokból keletkező CO<sub>2</sub> elnyeléséhez szükséges erdőterület nagysága.

- b. *Legelőlábnymó*: Annak a területnek a nagysága, amely a hús- és tejtermékekért, irhért és gyapjúért tartott állatállomány eltartásához szükséges.
- c. *Erdőlábnymó*: Az éves rönkfá, papíralapanyag-, faáru és tűzifa-felhasználás alapján becsült terület.
- d. *Halászati lábnymó*: A különböző tengeri és édesvízi fajok halászati adatai alapján, valamint az újratermelési igényeik alapján becsült érték.
- e. *Szántólábnymó*: Az emberi fogyasztásra, állati takarmányozásra és bioüzemanyagok előállítására termelt növények termesztésének területigénye.
- f. *Beépített területek*: Az emberi infrastruktúrához (pl. közlekedés, lakások, ipari létesítmények, vízi erőművek tározói) szükséges földterület nagysága.

Az ökológiai lábnymó-elemzések azonban hibák lehetnek amiatt, hogy nem veszik figyelembe a többszörös célra használt területeket, vagy hogy a becslések nagy része a Föld északi feltekéjére jellemző életstílus alapján készült, és nem vonatkozatható a Föld minden területére. Az ökológiai lábnymó-modelleket folyamatosan finomítják, de mégis inkább jelzésértékűnek, semmint a fenntarthatóság pontos mérőszámának tekinthetők [17]. Ezeknek a mutatóknak az elsődleges célja leginkább az erőforrás-takarékosság tudatosítása és a figyelem felkeltése az iparosodott országokban.

Megemlítenéd, hogy az ökológiai lábnymó kiegészítéseként megalkották a *víz lábnymó* fogalmát is, amely az emberiség által fogyasztott és/vagy beszennyezett édesvíz mennyisége együttesen [18, 19]. A víz lábnymó a vállalatok által termelt termékek/ szolgáltatásokra és az emberi társadalomra egyaránt használható mérőszám.

Az ENSZ 2015. szeptemberi csúcstalálkozóján elfogadták a 17 fenntartható fejlődési célt (FFC) tartalmazó dokumentumot 169 konkrét feladattal vagy célponttal együtt [20a]. Ezeket sok ország több száz szervezetének több ezer résztvevője dolgozta ki, akik jelentősen különböző környezeti, társadalmi, gazdasági és politikai háttérrel és jelentősen különböző rövid és hosszú távú szükségletekkel és célokkal rendelkeznek. Noha a 17 FCC megvalósítását 100 potenciális és jellemző indikátorral és 152 kiegészítő nemzeti indikátorral javasolták követni (amelyből számos nem volt mérhető 2015-ben), sem a fenntartható fejlődés, sem a három dimenziója nem volt definiálva. Ehelyett körkörös érvelést alkalmaztak, amely fenntarthatósággal kezdődik és fenntarthatósággal végződik. Például „Mi egy olyan világot képzelünk el, amelyben minden ország élvezzi a fenntartott, befogadó és fenntartható gazdasági növekedést és a mindenki számára megfelelő munkát. Egy világ, amelyben a fogyasztási és termelési jellemzők és a természetes alapanyagok használata – a levegőtől a szárazföldig, a folyóktól, tavaktól, víztározóktól az óceánokig és tengerekig – fenntartható” [20b]. Úgy tűnik, hogy a 17 FCC és a kapcsolódó feladatok szolgálhatnak „térképként a boldogsághoz”, de nem úgy, mint egy szabályrendszer, amely alapján egy olyan metrika fejleszthető, amely segítségével megvalósítható célok jelölhetők ki, emellett a felelősségre vonás és a hihetőség is megvalósulhat.

## Az etanolekvivalens definiálása

Az ökológiai lábnymó nem foglalkozik a fosszilis energia biomassza-alapon megvalósított kiváltásához szükséges terület- és vízigénnyel. Az általunk javasolt megközelítés arra ad választ,

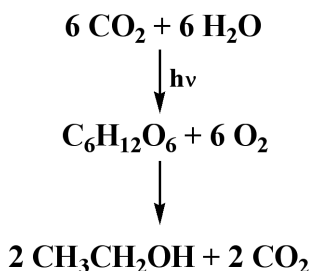




hogy a fosszilis tüzelőanyagokból nyert energia fedezhető-e megújuló, azon belül is első generációs technológiával kukoricából termelt bioetanol-alapú energiával, és ennek előállításának mekkora a terület- és vízigénye. Ez a megközelítés nem tartalmazza az emberek szokásait (mennyi húst esznek vagy milyen messzire utaznak nyaralni), sokkal inkább egy ország ipara és lakossága együttes energiafelhasználásának fenntarthatóságáról ad információt.

Az etanolekvivalens (EE) annak a bioetanolnak a mennyisége, amelyből egy adott mennyiségű nyersanyagból előállítható energiával azonos mennyiségű energia termelhető vagy amely egy adott mennyiségű szénalapú termék előállításához, a gyártáshoz kapcsolódó energiaigény biztosításával együtt szükséges [5]. Az etanolekvivalens használatát javasoljuk az energiafelhasználás és a szénalapú termékgyártás fenntarthatóságának teljesítménymérésére, amely közös mérőszámként a fosszilis és a biomassza-alapú nyersanyagok, termékek, eljárások, és technológiák összehasonlítására használható. Tekintve, hogy egy adott eljárás energiaigénye számolható (beleértve a szállítást, tárolást, keverést, melegítést, hűtést stb.), az eljárás (process) etanolekvivalense (EE<sub>p</sub>) vagy akár az egész technológia etanolekvivalense (EE<sub>t</sub>) becsülhető.

A fotoszintézis során a növény, esetünkben a kukorica, széndioxidból és vízből a napenergia segítségével saját szervezetét építi szénhidrát formájában, és mellette oxigént termel [21]. A szénhidrátokból fermentációs úton ismert technológiával etanol állítható elő szén-dioxid képződése mellett (1. ábra).



1. ábra. Etanol előállítása

A számításainkhoz kukoricánövényt, valamint a kukoricakeményítőből előállított első generációs bioetanol vettük alapul, mivel régre nyúló termelési tapasztalatok alapján kapott megbízható adatok állnak rendelkezésre, emellett széles körben elterjedt eljárás a világon. [22].

## Az első generációs bioetanol alkalmazásának fenntarthatósági kérdései

A rendkívül gyorsan növekvő népesség számára az egyik legnagyobb kihívást a fosszilis tüzelőanyagok kimerülése jelenti [23]. Ezek az anyagok összes energiaszükségletünk 86%-át biztosítják (Magyarországra a 2014-es évre vonatkoztatva) [24]. Habár nehéz előre jelezni a kőolaj, földgáz és szén megújuló energiaforrásokkal történő teljes kiváltásának pontos dátumát [25–26], a gyakran előforduló váratlan politikai helyzetek és/vagy gazdasági körülmények miatt a folyamatot fel kell gyorsítanunk, hiszen ezek

az események a fosszilis tüzelőanyagok drágulását eredményezhetik vagy azok hozzáférését korlátozzák (lásd orosz–ukrán gázvita [27]). Napjainkban azonban világméretben támogatják a megújuló tüzelőanyagok felhasználását, aminek oka, hogy a megújuló tüzelőanyagok elégetésével úgy lehet energiát termelni, hogy közben a nettó szén-dioxid-kibocsátás nem növekszik [28]. Mivel a fenntartható energiatermelő technológiák, köztük a napenergia villamos energiává, illetve hidrogénné alakítása, gazdaságossá alakítása több időt vesz igénybe, mint ahogyan várható volt [29–30], ezért a biomassza energiává történő közvetlen átalakítását, illetve biomassza-alapú folyékony energiahordozók létrehozását ajánlják a fosszilis tüzelőanyagok kiváltásának lehetséges megoldásaként. Napjainkban az ipar érdeklődésének körpontjában a bioetanol és biodízel mint közvetlen energiahordozók állnak. Ezt a termékek termelési növekedése is alátámasztja [31]. A fosszilis tüzelőanyagokból előállított szénalapú vegyi anyagok termelésének átállítása megújuló nyersanyagokból történő előállításra szintén kulcsfontosságú a vegyipar fenntarthatóságában [32–33].

A különböző biomassza-termelő és -átalakító technológiák a fenntarthatóság nehéz kérdéseivel szembesülnek, beleértve a súlyos globális és szociális következményeket is [34–37]. Mekkora a megművelhető terület, szabad-e vagy tudjuk-e ezt az élelmezésre alkalmas területet nem élelmezésre szánt biomassza termelésére használni? Van-e elegendő édesvíz ott helyben vagy regionálisan, amely szükséges ahhoz, hogy biztosítsuk a biomassza növekedését és feldolgozását? Melyek azok a molekulák, amelyek leginkább ki tudják váltani a kőszén, a kőolajt és a földgázt? További kérdés, hogy a biomassza-termelés és az átalakító technológiák nem fognak-e váratlan és eddig ismeretlen környezetvédelmi problémákat okozni. Néhány kérdésre meglehetősen nehéz választ adni, azonban a biomasszaalapon előállított etanol mennyiségének megbecslését egyszerűen megtehetjük. A fosszilis energiahordozók (szén, kőolaj és földgáz) eltüzeléséből nyert energiamennyiséggel egyenértékű biomasszából előállított etanolmennyiség konverziós faktor ismeretében számolható.

A kukorica termés hozama és az első generációs technológiával előállított etanol hozamának ismeretében kiszámoltuk azt a kukoricamennyiséget, illetve ennek megtermeléséhez szükséges területet és vízmennyiséget, amely a 2008-ban Magyarországon felhasznált fosszilis tüzelőanyagok energiájával egyenértékű etanol előállításához szükséges. A 2008-as évet választottuk referenciaévnak, hiszen a gazdasági válság visszavetette mind a nyersanyag-felhasználást, mind pedig a termelést. A részletes számítások, a hozzájuk kapcsolódó források, irodalmi hivatkozások az 1. táblázatban találhatóak. Jelen példával szemléltetjük, hogy a világ milyen kihívással szembesül. Az etanolekvivalens kiszámítása, illetve ennek az megtermeléséhez szükséges földterület és vízmennyiség jó alapot nyújt különböző eredetű termékek összehasonlítására is, és általa könnyen megérthetjük és „átérezhetjük” a fenntarthatóság problémáját.



1. táblázat. Részletes számítás a fosszilis tüzelőanyag kiváltásához szükséges bioetanol, kukorica, földterület és víz mennyiségére vonatkozóan

Bejegyzés	Számolás	Megjegyzés és hivatkozás
1	<b>A fosszilis tüzelőanyag fogyasztása</b> Magyarország kőolaj-, földgáz- és kőszénalapon felhasznált összenergia-mennyisége 2008-ban	
	7,5 Mtoe kőolaj + 12,6 Mtoe földgáz + 3,1 Mtoe kőszén = <b>23,2 Mtoe</b>	Statistical Review of World Energy 2017 [44] Mtoe = millió tonna olaj-ekvivalens
	$23,2 \text{ Mtoe} \times 42 \times 10^{-3} \text{ EJ} / \text{Mtoe} \times 10^{18} \text{ J} / \text{EJ}$ = <b><math>0,974 \times 10^{18} \text{ J}</math></b>	1 Mtoe = $42 \times 10^{-3}$ exajoule (EJ) Statistical Review of World Energy 2017 [44] 1 EJ = $10^{18} \text{ J}$
2	<b>A 2008. évben felhasznált összes fosszilis tüzelőanyag mennyiségének (lásd 1. bejegyzés) kiváltásához szükséges etanolmennyiség</b>	
	$0,974 \times 10^{18} \text{ J} \div 3,74 \times 10^9 \text{ J} / \text{hordó etanol}$ = $0,261 \times 10^9$ hordó etanol = <b>261 millió hordó etanol</b>	1 hordó etanol = 3,54 millió BTU (az Energy Information Administration táblázatában megadott ezer hordó etanol és $10^9$ BTU alapján származtatott érték) 1 BTU = 1055 J Statistical Review of World Energy 2017 [44] 1 hordó etanol = $3,54 \times 10^6 \text{ BTU} \times 1055 \text{ J} / \text{BTU} = 3,74 \times 10^9 \text{ J}$
	$0,261 \times 10^9 \text{ hordó} \times 159 \text{ liter} / \text{hordó}$ = <b><math>41,4 \times 10^9</math> liter etanol = <math>41,4 \times 10^6 \text{ m}^3</math> etanol</b>	1 hordó = 159 liter Statistical Review of World Energy 2017 [44] 1 m <sup>3</sup> = $10^3$ liter
	$41,4 \times 10^6 \text{ m}^3 \times 789 \text{ kg} / \text{m}^3 = 32,7 \times 10^9 \text{ kg}$ $32,7 \times 10^9 \div 100 \text{ kg} / \text{tonna}$ = $32,7 \times 10^6 =$ tonna etanol = <b>32,7 millió tonna etanol</b>	Etanol sűrűsége = $789 \text{ kg} / \text{m}^3$ J. G. Speight, Lange's Handbook of Chemistry [38]
	$32,7 \times 10^{12} \text{ g} \div 46,1 \text{ g} / \text{mol} = 709 \times 10^9 \text{ mol etanol}$	Etanol moláris tömege = $46,1 \text{ g} / \text{mol}$
3	<b>Fotoszintézishez szükséges víz (a kukorica sejtanyagába épített víz mennyisége)</b>	
	<b>Fotoszintézishez szükséges víz</b> $3 \times 0,709 \times 10^{12} \text{ mol} = 2,13 \times 10^{12} \text{ mol víz}$ $2,13 \times 10^{12} \text{ mol} \times 18,0 \text{ g} / \text{mol} = 38,3 \times 10^9 \text{ kg}$ = <b>38,3 millió tonna víz</b>	6 mól víz szükséges 2 mól etanol előállításához, ezért 3-szor annyi víz kell, mint amennyi etanol (lásd 1. ábra) Víz moláris tömege = $18,0 \text{ g} / \text{mol}$
	Vízigény térfogatban = $0,0384 \text{ km}^3$ víz	Víz sűrűsége $20^\circ\text{C-on} = 998 \text{ kg} / \text{m}^3$
4	<b>Etanol hozama kukoricából</b>	
	$325 \text{ kg etanol} / \text{tonna kukorica} \div 1000 [\text{kg} / \text{tonna}]$ = <b>0,325 tonna etanol / tonna kukorica</b>	325 kg etanol nyerhető 1 tonna kukoricamagból, Mag, Kutatás, Fejlesztés, Környezet; Nagy János, Kukoricatermesztés, 10. oldal [50] 1 tonna = 1000 kg
5	<b>Etanol előállításához szükséges kukorica mennyisége</b>	
	$32,7 \times 10^6 \text{ tonna etanol} \div 0,325 \text{ tonna} / \text{tonna}$ = $100,6 \times 10^6 \text{ tonna kukorica} =$ <b>100,6 millió tonna kukorica</b>	Lásd a 2. és 4. bejegyzést
6	<b>Kukoricatermeléshez szükséges terület</b>	
	<b>Termelékenység</b> a) 3500 liter etanol / hektár vagy b) 4500 liter / hektár	a) Agrártudományi Közlemények, 2004/14 [39] vagy b) <i>Mv Amanita</i> (FAO 320) típusú hibrid kukorica etanolhozama 4500 liter etanol/hektár [40]
	$3,5 \text{ m}^3 \text{ etanol} / \text{hektár} \times 789 \text{ kg} / \text{m}^3 = 2762 \text{ kg etanol} / \text{hektár}$ = <b>2,762 tonna / hektár</b>	Etanol sűrűsége = $789 \text{ kg} / \text{m}^3$ J. G. Speight, Lange's Handbook of Chemistry [38]
	<b>a) Kukoricatermeléshez szükséges terület</b> $41,4 \times 10^9 \text{ liter etanol} \div 3500 \text{ liter} / \text{hektár} = 11,8 \text{ millió hektár}$	Etanolhozam, Agrártudományi Közlemények, 2004/14 [39]
	<b>b) Kukoricatermeléshez szükséges terület</b> $41,4 \times 10^9 \text{ liter etanol} \div 4500 \text{ liter} / \text{hektár}$ = <b>9,21 millió hektár</b>	<i>Mv Amanita</i> (FAO 320) típusú hibrid kukorica etanolhozama 4500 liter etanol / hektár [40]





Bejegyzés	Számolás	Megjegyzés és hivatkozás
<b>Kukoricánövény víztartalma</b>		
7	Az a vízmennyiség, amely 100,6 millió tonna kukoricaszem termesztéséhez szükséges $100,6 \times 10^6 \text{ tonna} \div 40\% = 252 \times 10^6 \text{ tonna}$	A kukoricaszem a növény 45,9%-a [41] Jelen tanulmányban 40%-nak becsültük (a gyökérzet víztartalmával csökkentett érték)
	A víz : szárazanyag becsült tömegaránya = $72,6\% \div 27,4\% = 2,65$ kukoricánövényre $252 \times 10^6 \text{ tonna} \times 2,65 = 667 \times 10^6 \text{ tonna víz}$ $= 0,668 \text{ km}^3$	A kukoricánövény víztartalma elérheti a 72,6%-ot. [42] Víz sűrűsége = $998 \text{ kg/m}^3$
<b>Etanol előállításához szükséges fajlagos vízmennyiség</b>		
8	<b>Etanol előállításához szükséges fajlagos vízmennyiség</b> $0,668 \text{ km}^3 \div 0,0414 \text{ km}^3 = 16,1 \text{ liter víz / liter etanol}$	Kukoricánövény aratáskor vett víztartalmát figyelembe véve.
	<b>Kukoricánövény öntözéséhez szükséges vízmennyiség</b> $0,0414 \text{ km}^3 \times 142 \text{ liter víz / liter etanol}$ $= 5,88 \text{ km}^3 \text{ víz}$	Kukoricából előállított etanol esetén a vízigény 142 liter víz 1 liter etanolra vonatkoztatva [43]

Az itt bemutatott elemzés szándékosan egyszerű, és a lehető legpozitívabb megvilágításban tünteti fel az etanol kukoricából történő előállítását.

Magyarország összes fosszilis tüzelőanyag felhasználása 23,2 millió tonna olajekvivalens (továbbiakban Mtoe) volt 2008-ban [44], amely átszámítva összesen 0,974 EJ energiafelhasználást jelent [45] (lásd **1. táblázat**, 1. bejegyzés). Ezt a mennyiségű energiát kukoricaalapon gyártott etanolból előállítva 41,4 millió m<sup>3</sup> etanolra lenne szükség, amely szinte megegyezik a Velencei-tóban található vízmennyiséggel (41 millió m<sup>3</sup> [46]) (lásd **1. táblázat**, 2. bejegyzés). Megjegyzendő, hogy 2008-ban Magyarországon 150 millió liter, azaz 150 ezer m<sup>3</sup> bioetanol állítottak elő [47], amely szinte elenyésző a 41,4 millió m<sup>3</sup>-hez képest, annak csupán 0,36%-a. A kukorica növekedéséhez szükséges fotoszintézishez 0,0384 km<sup>3</sup> vízre van szükség (lásd **1. táblázat**, 3. bejegyzés), amely csak töredéke a Magyarországra jutó évi összes csapadékmennyiségnek (vö. **3. táblázat**, 6. bejegyzés). (A magyarországi évi átlagos 500–750 mm [48] csapadékmennyiség-tartomány átlagával (625 mm) számolva, Magyarország területére (93 028 km<sup>2</sup>) vetítve az éves összes csapadékmennyiség 58,1 km<sup>3</sup>-nek adódik. Megjegyzendő, hogy az Agrárminisztérium által kiadott, Magyarország vízgazdálkodásáról szóló tájékoztatóban is 58 km<sup>3</sup>-nek számítják az éves csapadékmennyiséget [46].) Ha azonban az öntözéshez szükséges vízmennyiséget vesszük alapul, akkor is többé-kevésbé megvalósítható a gondolatkísérletünk, hiszen Magyarország éves csapadékmennyisége majdnem teljes egészében fedezné a kukorica öntözésére használt éves vízmennyiséget (lásd **1. táblázat**, 8. bejegyzés). Magyarország jelentős édesvízkészlettel rendelkezik, és ez a megújuló vízmennyiség évi 120 km<sup>3</sup>-t jelent [49]. Megállapítható, hogy a fotoszintézishez szükséges vízmennyiség Magyarország vonatkozásában nem korlátozó tényező, vagyis az ország kedvező fekvése és vízellátása szempontjából a kukoricatermesztéshez igényelt vízmennyiséget teljes egészében fedezni tudnánk.

A következőkben kiszámoltuk, hogy amennyiben 325 kg etanol állítható elő 1 tonna kukoricából [50], illetve egy hektáron 4500 liter etanol termelhető *Mv Amanita* (FAO 320) típusú hibrid kukorica termesztése esetén [40], akkor a 41,4 millió m<sup>3</sup> etanol előállításához 100,6 millió tonna kukorica szükséges (lásd

**1. táblázat**, 5. bejegyzés), amelynek megtermeléséhez 9,21 millió hektár termőterületre lenne szükség (lásd **1. táblázat**, 6. bejegyzés b) sor). Ezt összevetve Magyarország területével gyakorlatilag az egész ország területén (vízfelszíneket leszámítva az ország területe 8,96 millió hektár [54]) ilyen típusú hibrid kukoricát kellene termesztünk plusz még egy Nógrád megyéni területre (2546 km<sup>2</sup> [51]) lenne szükségünk ahhoz, hogy fosszilis energiaigényünket etanolból fedezni tudjuk, ami teljességgel lehetetlen. Az összehasonlításhoz használt adatokat a **2. táblázat** foglalja össze.

De vajon mi a helyzet a Magyarországon előállított benzinnel vagy vegyipari alapanyagokkal, ezeknek mennyi az etanolekvivalense? Mennyi kukorica szükséges az etanol előállításához, és ez hányszorosa az adott évben termelt kukorica mennyiségének? Mekkora a termesztéshez szükséges földterület, és ez Magyarország vagy a mezőgazdaságilag művelt földterület hányad részét teszi ki?

A kérdések megválaszolása érdekében sorra vettük azokat a vegyipari alapanyagokat, amelyek termelési adatai hozzáférhetőek voltak, és kiszámoltuk először ezek EE-ét. Kezdtük a benzinnel, hiszen Magyarország kőolaj-finomítói kapacitása világviszonylatban a 63. helyen állt 2008-ban. Ebben az évben 37,7 ezer hordónyi benzint termeltünk naponta [56], amely a benzin átlagos sűrűségével (0,74 kg/dm<sup>3</sup> [57]) számolva évi 1,62 millió tonnát jelent. Figyelembe véve a benzin energiatartalmát (115 400 BTU/gallon [58]) és az etanol energiatartalmát (1 hordó etanol =  $3,74 \times 10^9 \text{ J}$ , lásd **1. táblázat**, 2. bejegyzés), a termelt benzin energiatartalma 2,36 millió tonna etanollal helyettesíthető. Ne felejtsük el viszont azt, hogy az etanol-előállítás technológiájának is van energiaigénye! Akkor vagyunk leginkább környezettudatosak, ha az etanol-előállításához szükséges energiát is etanolból fedezzük, és EE-ben adjuk meg. Több tanulmány is készült az USA-ban az etanolüzemek gazdaságosságának felmérése céljából, és egyértelműen javuló tendencia látszik: a korai technológiákhoz képest 2004-re 1,34 [59], míg 2008-ra már 2,3 egység etanolban mért energiát tudtak előállítani egy egység befektetett energiából [60], és ez az érték 2016-ra már 4 egységre ugrott [61]. Ha összességében vizsgáljuk a benzin EE-értékét, a 2008-as technológia figyelembevételével máris magasabb érték, pontosan



2. táblázat. Felhasznált, illetve elérhető nyersanyagforrások 2008-ban

Bejegyzés	Magyarország	Mértékegység	Érték	Hiv.
1	Kőolaj-felhasználás	Mtoe <sup>a</sup>	7,5	[44]
2	Földgáz-felhasználás	Mtoe <sup>a</sup>	12,6	[44]
3	Kőszénfelhasználás	Mtoe <sup>a</sup>	3,1	[44]
4	Összes fosszilis tüzelőanyag felhasználása	Mtoe <sup>a</sup>	23,2	
		EJ <sup>b</sup>	0,974	
5	Bioetanol-termelés	Millió liter	150	[47]
6	Csapadékból eredő éves vízmennyiség	km <sup>3</sup>	58,1	[48]
7	Éves megújuló vízmennyiség	km <sup>3</sup>	120	[49]
8	Kukoricatermelés	Millió tonna	8,9	[52]
9	Kukoricatermesztésre használt földterület	Millió hektár	1,20	[52]
10	Mezőgazdaságilag megművelt összterület	Millió hektár	5,79	[53]
11	Az ország összterülete	Millió hektár	9,30	[54]
12	Az ország összterülete a vízfelszíneket leszámítva	Millió hektár	8,96	[54]
13	Adott évben öntözött földterület	Millió hektár	0,08	[55]

<sup>a</sup> Mtoe: millió tonna olaj-ekivalens

<sup>b</sup> EJ = exajoule = 10<sup>18</sup> joule

<sup>c</sup> Az Országos Meteorológiai Szolgálat által adott éves átlagos csapadékmennyiség tartományának átlaga, Magyarország területére vetítve, ([http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/altalanos\\_eghajlati\\_jellemzes/csapadek/](http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/csapadek/), utolsó megtekintés 2019. október 23.)

3,39 millió tonna EE adódik. Az etanolelőállítás energiatartalmát is figyelembe vevő etanolekvivalenst EE<sub>2,3</sub>-ként jelöltük (3. táblázat).

Hasonlóan jártunk el a Magyarországon termelt kerozin mennyiségét illetően, és megdöbbenő, hogy a benzinhez képest több mint négyszeres EE-értéket kaptunk (16 millió tonna). A számításokat tovább folytatva vizsgáltuk az etilén és propilén EE-érté-

két. A termodinamikát és az etanol dehidratálásának reakcióegyenletét alapul véve etilén könnyen előállítható, és az etilénnel sztöchiometrikus mennyiségű etanol szükséges annak előállításához [64]. A reakció természetesen katalizátort és megfelelő hőmérsékletet igényel, azonban melléktermékként – számunkra kedvezően – víz keletkezik, ami összességében a fent levezetett vízmérleget javítja. Három etanolból két propilénmolekula állít-

3. táblázat. A benzin, kerozin, etilén, propilén 2008-ban előállított mennyiségének kiváltásához szükséges EE<sub>2,3</sub>, illetve földterület-ekvivalensek 3500 liter etanol/hektár etanolhozamot figyelembe véve<sup>a</sup>

Vegyianyag	Mértékegység	Előállított mennyiség 2008-ban	EE <sub>2,3</sub>	Az előállítási reakció entalpiája EE <sub>2,3</sub>	Szumma EE <sub>2,3</sub>	A szumma EE <sub>2,3</sub> -előállításához szükséges kukorica		A kukoricatermesztéshez szükséges földterület		
						Millió tonna	2008-as évi összes kukorica-termelés %-a		Millió hektár	terület %-a
		Millió tonna	MtEE <sub>2,3</sub>	MtEE <sub>2,3</sub>	MtEE <sub>2,3</sub>				össz.	megyék
Benzin	37,7 ezer hordó/nap [56]	1,62	3,39	na	3,39	10,4	117	3,8	42,4	Bács-Kiskun, Baranya, Békés, Csongrád, Fejér
Kerozin (jet fuel)	162 ezer hordó/nap [62]	7,71	16	na	16	49,2	553	17,8	198,7	2-szer Magyarország
Etilén	812 ezer tonna/év [63]	0,812	1,91	0,062	1,972	6,1	69	2,2	24,6	Baranya, Borsod-Abaúj-Zemplén, Csongrád, Somogy
Propilén <sup>b</sup>	280 ezer tonna/év [63]	0,28	0,659	0,002	0,661	2	22	0,7	7,8	Heves, Vas

<sup>a</sup> EE<sub>2,3</sub> tartalmazza az adott energiamennyiséget etanolekvivalensben, és az etanol előállításának energiáját is EE-ben. (1 egység energia befektetésével 2,3 egység etanolenergia nyerhető [60]).

<sup>b</sup> 3 etanol → 2 propilén + 3 H<sub>2</sub>O.



ható elő ugyanígy dehidratálással [65]. A reakcióegyenletek felírása után a reakcióhők és moláris mennyiségének ismeretében a szükséges energia-, illetve etanolmennyiség már könnyedén számolható. A 3. táblázat alapján egyértelműen látszik, hogy a kerozintermelés energiatarthatalmának kiváltásához szükséges kukoricamennyiség Magyarország területének kétszeresét igényli, de az egyéb vegyi anyagokat tekintve akár meg is valósítható biomassza-alapú etanoltól történő előállítás.

## Összefoglalás, kitekintés

Bevezettük az „etanolekvivalens” fogalmát, és javasoljuk használatát az energia-előállítás és termékgyártás fenntarthatóságának teljesítménymutatójaként, amely közös mérőszámként a fosszilis és a biomassza-alapú nyersanyagok, termékek, eljárások, és technológiák összehasonlítására használható.

Számításaink rávilágítottak arra, hogy a felhasznált fosszilis tüzelőanyagok energiáját pusztán első generációs bioetanollal kiváltani nem lehet, mert az etanol megtermeléséhez, pontosabban a kukorica termesztéséhez szükséges földterület nagyobb, mint Magyarország összterülete.

A vegyipari alapanyagok, úgymint etilén és propilén az etanol dehidratálásával előállíthatók és technológiailag megvalósíthatók, bár az összes etilén előállításához szükségünk lenne a mezőgazdasáigilag művelt terület 38%-ára, vagyis Baranya, Borsod-Abaúj-Zemplén, Csongrád és Somogy megye területére, hogy kukoricát termeljünk rajta. A vegyipari termelési célú kukoricatermelés nyilvánvalóan nem mehet az élelmezési célú földhasználat javára. A másod- és harmadgenerációs etanolgyártás elterjedésével és az energiahatékonyság javításával azonban 5–10 [66] százalékkal növelhető a hektáronkénti etanolhozam, ami kedvezőbbé teszi a vegyi anyagok etanoltól történő előállítását.

Fenntartásági szempontból a biomasszaalapon történő vegyületek ún. *platform chemicals* előállítása nagyobb potenciált jelent, főként akkor, ha nem élelmezésre használt biomasszát, hanem mező- és erdőgazdasági hulladékokat vagy élelmiszer-hulladékot hasznosítunk [67].



## IRODALOM

- [1] World Commission on Environment and Development, "Our Common Future" Oxford University Press, Oxford, 1987.
- [2] C. Saran, Apollo 11: The computers that put man on the moon, ComputerWeekly.Com, (<http://www.computerweekly.com/feature/Apollo-11-The-computers-that-put-man-on-the-moon>), (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).
- [3] E. Siegel, Predictive Analytics: The Power to Predict Who Will Click, Buy, Lie, or Die, Wiley, John & Sons. Inc. Hoboken, 2013.
- [4] D. Evans, Risk Intelligence: How to Live with Uncertainty, Simon & Schuster, Inc., New York, 2012.
- [5] Cséfalvay, E. et al., Catal. Today (2015) 239, 50–55.
- [6] MSZ EN ISO 14001:2005 szabvány
- [7] Green House Gas Protocol standards, <http://www.ghgprotocol.org/standards>, (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).
- [8] W.R. Stahel, G.Reday-Mulvey, Jobs for Tomorrow: The Potential for Substituting Manpower for Energy, Vantage Press, USA, 1981.
- [9] M. Goedkoop, The Eco-indicator 95, Final Report, Pré Consultants, 1995, ISBN 90-72130-80-4, <http://www.pre-sustainability.com/download/EI95FinalReport.pdf> (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).
- [10] M. Goedkoop, R. Sprinsema, The Eco-indicator 99, A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment, Methodology Report, Third edition, Pré Consultants, 2000, [http://www.pre-sustainability.com/download/misc/EI99\\_annexe\\_v3.pdf](http://www.pre-sustainability.com/download/misc/EI99_annexe_v3.pdf) (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).
- [11] J. B. Guinée, LCA and MFA/SFA: analytical tools for Industrial Ecology, Institute of Environmental Sciences (CML), Leiden, 2001.
- [12] IPCC, <http://www.ipcc.ch/> (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).
- [13] Torma A., A környezeti teljesítményértékelés aggregáló módszerei és az anyagáram-elemzés kapcsolatrendszere. Egy integrált vállalati modell megalapozása. PhD-értekezés, BME Környezet-gazdaságtan Tanszék, 2007.
- [14] WHO, Health statistics and information systems, [http://www.who.int/healthinfo/global\\_burden\\_disease/metrics\\_daly/en/](http://www.who.int/healthinfo/global_burden_disease/metrics_daly/en/) (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).
- [15] O. Klepper, D. van de Meent, Mapping the Potentially Affected Fraction (PAF) of species as an indicator of generic toxic stress, Report 67504001 RIVM, Bilthoven, 1997.
- [16] M. Wackernagel, W. Rees. Our Ecological Footprint: Reducing Human Impact on the Earth. Gabriola Island, BC: New Society Publishers. 1996, ISBN 086571312X.
- [17] <http://ecologicalfootprint.com/>
- [18] Hoekstra AY, Hung PQ (2002) Virtual water trade: A quantification of virtual water flows between nations in relation to international crop trade. Value of Water Research Report Series No. 11, UNESCO-IHE Institute for Water Education, Delft, The Netherlands, <http://www.waterfootprint.org/Reports/Report11.pdf>. (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).
- [19] Water Footprint Network, <http://waterfootprint.org/en/water-footprint/what-is-water-footprint/>, (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).
- [20] (a) Resolution adopted by the General Assembly on 25 September 2015 (A/RES/70/1): Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development. (b) Declaration / Our vision / Paragraph 9.
- [21] D. O. Hall, K. Rao, Photosynthesis, Cambridge University Press, Cambridge, 2009.
- [22] C. Wyman, Handbook on Bioethanol: Production and Utilization. In: Applied Energy Technology Series, CRC Press, Taylor & Francis Group, 1996.
- [23] K. S. Deffeyes, Beyond Oil: The View from Hubbert's Peak. Farrar, Straus and Giroux, New York, 2005.
- [24] BP Statistical Review of World Energy 2015 ([www.bp.com](http://www.bp.com), letöltve 2015. július 9.)
- [25] D. J. C. MacKay, Sustainable Energy – Without the Hot Air. UIT Cambridge Ltd., Cambridge, 2009.
- [26] D. L. Klass, Biomass for Renewable Energy, Fuels, and Chemicals. Elsevier, Amsterdam, 1998.
- [27] Gázváltás percrel percre, hírportál, <http://index.hu/gazdasag/magyar/gavzpp090107/> (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).
- [28] R. E. H. Sims et al., Global Change Biology (2006) 12, 2054.
- [29] J.-E. Moser, Nature Materials (2005) 4, 723.
- [30] National Research Council, The hydrogen economy: opportunities, costs, barriers and R & D needs. National Academies Press, Washington D. C., 2004.
- [31] Fuel Ethanol Overview, 1981-2012 and Biodiesel Overview 2001-2012 <http://www.eia.doe.gov/emeu/aer/txt/ptb1003.html> (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).
- [32] F. W. Lichtenthaler, Carbohydrates as Organic Raw Materials. VCH, Weinheim, 1991.
- [33] E. Cséfalvay, I.T. Horvath, Chemicals from Renewable Feedstocks, McGraw-Hill Yearbook of Science & Technology, 2013.
- [34] D. Pimentel, Natural Resources Research (2003) 12, 2127.
- [35] M. Patzek, Biomass Bioenergy (2004) 27, 613.
- [36] I. T. Horvath et al., Green Chem. (2008) 10, 238.
- [37] D. Pimentel et al., Hum. Ecol. (2009) 37, 1.
- [38] J. G. Speight, Lange's Handbook of Chemistry, 16th ed., McGraw-Hill, New York, 2005.
- [39] Bai A., Agrártudományi Közlemények (2004) 14, 30–38.
- [40] Tóth Z. et al, Nagy keményítőtartalmú kukoricák termőképességének és bioetanol-kihozatalának vizsgálata, konferencia-előadás, LIII. Georgikon-napok, 2011. szeptember 29–30.
- [41] L. O. Pordesimo et al., Biomass and Bioenergy (2004) 26, 337–343.
- [42] C. Igathinathane et al., Trans. ASABE, (2006) 49, 97–106.
- [43] Y.-W. Chiu, B. et al., Environ. Sci. Technol. (2009) 43, 2688–2692.
- [44] Statistical Review of World Energy 2017. <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html> (letöltve 2018. július 10.)
- [45] Annual Energy Review 2008, US Department of Energy, 291. o.
- [46] Környezetvédelmi és Vízügyi Minisztérium, tájékoztató füzet, [www.kvvm.hu/cim/documents/MO\\_VG\\_vegleges.pdf](http://www.kvvm.hu/cim/documents/MO_VG_vegleges.pdf) (letöltve 2014. július 11., 2019. októberben nem elérhető).
- [47] Garay R., Bioüzemanyagok – Földhasználat – Takarmányipiaci előadás, Vidékfejlesztési Minisztérium (VM) és a Nemzeti Agrárgazdasági Kamara (NAK) által szervezett Melléktermék Konferencia, Budapest, 2013. július 8.
- [48] Országos Meteorológiai Szolgálat, [http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag\\_eghajlata/altalanos\\_eghajlati\\_jellemzes/csapadek/](http://www.met.hu/eghajlat/magyarorszag_eghajlata/altalanos_eghajlati_jellemzes/csapadek/) (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).
- [49] The World's Water 2008–2009, <http://www.worldwater.org/data20082009/Table1.pdf> (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).
- [50] Nagy J., Mag, Kutatás, Fejlesztés, Környezet (2007) 1, 9–12.
- [51] Központi Statisztikai Hivatal, Helységnévkönyv adattár 2011, 2011. január 1. felmérés szerint
- [52] Statisztikai Hivatal, kukorica betakarított mennyisége és a betakarított szántóterület nagysága, <http://statinfo.ksh.hu/Statinfo/haViewer.jsp> (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).
- [53] Központi Statisztikai Hivatal, [http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat\\_hoszszu/h\\_omf00a.html](http://www.ksh.hu/docs/hun/xstadat/xstadat_hoszszu/h_omf00a.html) (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).
- [54] Central Intelligence Agency, <https://www.cia.gov/library/publications/the-world-factbook/geos/hu.html>, letöltve 2014. július 11., (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).
- [55] Központi Statisztikai Hivatal, <http://statinfo.ksh.hu/Statinfo/haViewer.jsp>, letöltve 2014. július 10.
- [56] U.S. Energy Information Administration, <http://www.nationsencyclopedia.com/World-Stats/EIA-petroleum-production-motor-gasoline.html> (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).
- [57] Benzin sűrűsége [https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-densities-specific-volumes-d\\_166.html](https://www.engineeringtoolbox.com/fuels-densities-specific-volumes-d_166.html) (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).
- [58] Transportation Energy Data Book: Edition 28.
- [59] H. Shapouri, et al., The Energy Balance of Corn Ethanol: An Update USDA, Agricultural Economic Report Number 813.
- [60] H. Shapouri, et al., 2008 Energy Balance for the Corn-Ethanol Industry, USDA, Agricultural Economic Report Number 846.





- [61] G. Cooper, National Corn Growers Association, <http://www.cie.us/documents/How-MuchEthanol.pdf>, 3.  
 [62] <http://www.nationsencyclopedia.com/WorldStats/EIA-petroleum-consumption-jet-fuel.html> (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).  
 [63] MOL Group Annual Report 2008, p.182. [http://www.mol.hu/en/about\\_mol/news\\_media\\_centre/our\\_publications/annual\\_reports/](http://www.mol.hu/en/about_mol/news_media_centre/our_publications/annual_reports/), letöltve 2014. július 16.  
 [64] Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Ethylene, Vol.13. Wiley-VCH, Weinheim, 2012. 515–517.  
 [65] (a) Ullmann's Encyclopedia of Industrial Chemistry, Ethylene, Vol.13. Wiley-VCH,

- Weinheim, 2012. 515–517. (b) Forestiere, A. et al., Oil & Gas Sci. Technol. (2009) 64, 649–667. (c) [http://www.cbi.com/What-We-Do/Technology/Petrochemicals/Olefins/Propylene-Production/Olefins-Conversion-\(OCT\)](http://www.cbi.com/What-We-Do/Technology/Petrochemicals/Olefins/Propylene-Production/Olefins-Conversion-(OCT)) (utolsó látogatás: 2019. 10. 24.).  
 [66] From 1st to 2nd Generation Biofuel Technologies: An overview of current industry and RD&D activities – IEA report, 2008. nov. <https://www.ieabioenergy.com/publications/from-1st-to-2nd-generation-biofuel-technologies-an-overview-of-current-industry-and-rdd-activities-a-joint-task-39-and-ieahq-report/> (utolsó látogatás: 2019. 10. 23.).  
 [67] Mika, L. T. et al., Chem. Rev. (2018) 118, 505–613.

Zádori Antal

# A hőátadás berendezései az ásványolajiparban

**A**z ásványolajiparban a nyersolajat, forráspontjaik alapján, több termékre választják szét. Egyes termékek további elválasztása szintén lepárlóberendezésben történik.

A lepárlótoronyba táplált olajat csökemencében melegítik a szükséges hőmérsékletre. A jó hőkihasználás érdekében az olajat, a csökemencébe való juttatása előtt, a lepárlótoronyból távozó olajtermékekkel melegítik elő.

Az olajtermékek hőjének a hőcserélőkben való hasznosítása során, a nagy hőmérsékletek miatt, nagy lehet a hőmérséklet-különbség a fűtőtest és a hőcserélőház között. Ez nagy eltérést eredményez hőtágulásukban.

Az ásványolajiparban alkalmazott, úszófejes hőcserélő (1. ábra) fűtőteste (1) csak az egyik oldalán van a hőcserélőházhoz (2) rögzítve, ezért eltérő hőtágulásuk nem okoz feszültséget.

Az úszófejes hőcserélő fűtőteste egy nagy átmérőjű csökötegfalból, egy kis átmérőjű csökötegfalból, azokat összekötő fűtőcsövekből és terelőlemezekből áll.

A nagy átmérőjű csökötegfal a csököteges fűtőtestnek a hőcserélőházhoz való rögzítésére is szolgál. A hőcserélő szerelésekor a kis átmérőjű csökötegfal lehetővé teszi annak átvezetését a hőcserélőházon, biztosítva, hogy a csököteges fűtőtest jól kitöltse a hőcserélőházat.

A terelőlemezek az olaj áramlási irányát határozzák meg a fűtőcsövek külső részén,

a hőcserélőház belépő, illetve kilépő csoncjai között.

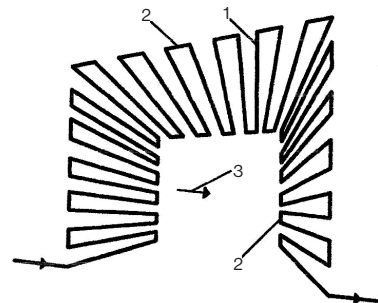
A csököteges fűtőtest nagy átmérőjű csökötegfalához rögzített elosztófedél (3) közepén lévő válaszfal a teret két részre osztja. Az elosztófedél és a nagy átmérőjű csökötegfal által képzett beömlőkamrából áramlik az olaj az egyik csőnyaládba, illetve a másik csőnyaládból jut vissza a kilépőkamrába. Az elosztófedélhez csatlakozik a két csőcsonk is.

A fordulókamra fedele (4) és a csököteges fűtőtest kis átmérőjű csökötegfala által képzett térben az egyik csőnyaládból érkező olaj a másik csőnyaládba áramlik át. Egy szétszedhető, kétrészes lazakarima (5) csavarokkal rögzíti a fordulókamra fedelét a kis átmérőjű csökötegfalhoz. A hőcserélőházat egy készülékfedél (6) zárja.

Az úszófejes hőcserélő jól karbantartható. Elhasználódás esetén a fűtőtest kicserélhető, és felújított vagy új fűtőtest építhető be. Ez a hőcserélő típus üzembiztos, mert tömszelencés szerkezet nélkül teszi lehetővé, hogy a hőtágulás által feszültség keletkezzen.

Hőátadás szempontjából nem előnyös az úszófejes hőcserélőben létrejövő keresztáramlás. Ez a hátrány több hőcserélő sorba kapcsolásával ellensúlyozható, mert így ellenáramlás érhető el.

A lepárlótoronyba táplált olajat csökemencében melegítik kellő hőmérsékletre. A csökemence fűtőcsőrendszerének (2. ábra) fűtőcsövei (1) hasás alakú tüztér belsejében,



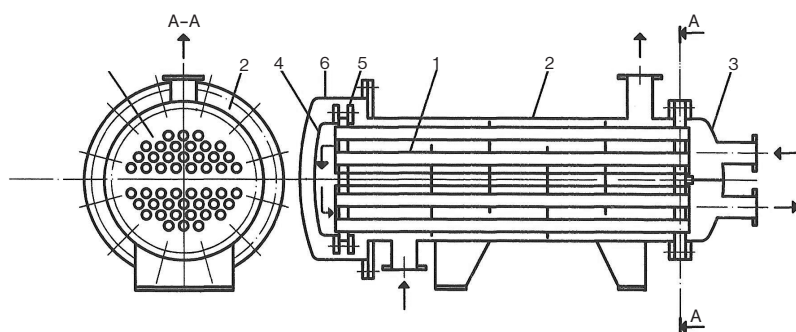
2. ábra. Csökemence fűtőcsőrendszere

a hőálló falazat mellett, vízszintesen helyezkednek el. A fűtőcsöveket fordulókamrák (2) kötik sorba. Ezek a tüztérrel kívül, egy hőszigetelt térben vannak. A csökemence tüztérét gázégő (3) fűti.

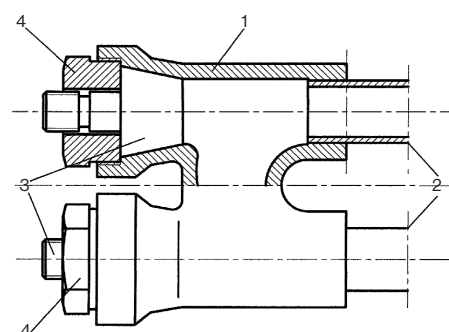
A fűtőcsőrendszer fordulókamrájának (3. ábra) acélöntvényből készült fordulókamraházához (1) csőprésszel rögzítik a fűtőcsöveket (2). A fordulókamrához csatlakozó két fűtőcső rögzítését, tisztítását és szükség esetén cseréjét a fordulókamraház szerelőnyílásain át lehet elvégezni.

A szerelőnyílás zárására egy acélból készült, edzett és köszörült, kúpos záróelem (3) szolgál. A kúpos záróelemet menetes szorító (4) rögzíti a fordulókamraházhoz.

A szerelőnyílás szabaddá tételekor a kúpos záróelem külső részén lévő, menetes csappal lehet a fordulókamraházba beszorult, kúpos záróelemet kimozdítani. Egy fordulókamraházra támaszkodó közdarab és egy csavaranya segítségével kifejezhető a szükséges erő.



1. ábra. Úszófejes hőcserélő



3. ábra. Fűtőcsőrendszer fordulókamrája